

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 30.3.2004

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT

Hakija
Applicant

Nokia Telecommunications Oy
Helsinki

Patenttihakemus nro
Patent application no

991585

Tekemispäivä
Filing date

09.07.1999

Kansainvälinen luokka
International class

H01P

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä aaltojohdon toteuttamiseksi monikerroskeramiikkarakenteissa ja aaltojohto"

Hakijan nimi on hakemusdiaariin 10.12.1999 tehdyn nimenmuutoksen jälkeen Nokia Networks Oy.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on 10.12.1999 with the name changed into Nokia Networks Oy.

Hakemus on hakemusdiaariin 24.03.2002 tehdyn merkinnän mukaan siirtynyt Nokia Corporation nimiselle yhtiölle, Helsinki.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on 24.03.2002 been assigned to Nokia Corporation, Helsinki.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Pirjo Kaila
Tutkimussihteeri

Maksu
Fee

50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

Menetelmä aaltojohdon toteuttamiseksi monikerroskeramiikkarakenteissa ja aaltojohto

5 Keksinnön kohteena on menetelmä aaltojohdon valmistamiseksi monikerroskeramiikalla valmistettaviin piirikokonaisuuksiin, jonka piirikokonaisuuden mitat ja rakennesuunnat ovat määriteltävissä toisiaan vastaan kohtisuorien x-, y- ja z-akselien avulla, ja jossa valmistusmenetelmässä piirikokonaisuus kootaan erillisistä keraamisista kerroksista, joiden kerrosten permittiivisyys ϵ_r on ilman vastaavaa arvoa suurempi ja joihin kerroksiin voidaan tehdä halutun muotoisia onteloita ja reikiä
10 sekä jonka keraamisen kerroksen pinnalle voidaan silkipainaa haluttuun kohtaan halutun muotoinen johtava materiaalikerros ja joka piirikokonaisuus saatetaan valmiiksi saattamalla piirikokonaisuus korkeaan lämpötilaan.

Keksinnön kohteena on myös monikerroskeramiikalla valmistettaviin piirikokonaisuuksiin integroitu aaltojohto, jonka piirikokonaisuuden mitat ja rakennesuunnat
15 ovat määriteltävissä toisiaan vastaan kohtisuorien x-, y- ja z-akselien avulla, ja jossa piirikokonaisuus on kootu erillisistä keraamisista kerroksista, joiden kerrosten permittiivisyys ϵ_r on ilman vastaavaa arvoa suurempi ja joihin kerroksiin on valmistettu halutun muotoisia onkaloita ja reikiä ja jonka keraamisen kerroksen pinnalle on silkipainettavissa haluttuun kohtaan halutun muotoinen johtava materiaalikerros.
20

Elektronisten laitteiden rakenteissa käytetään hyväksi erilaisia johtorakenteita. Mitä suurempia taajuuksia laitteissa käytetään, sitä suurempia vaatimuksia asetetaan käytettävälle johtorakenteille, jotta johtorakenteiden aiheuttama vaimennus ei kasva liian suureksi tai ettei käytetty johtorakenne säteilemällä häiritse muita laitteeseen kuuluvia osia. Laitteen suunnittelijalla on valittavana useita mahdollisia johtorakenteita. Sovelluksesta riippuen voidaan käyttää esim. metallista valmistettua, ilmatäytteistä aaltoputkea, jonka periaatteellinen rakenne, mitoitus, aaltoputkessa etenemään kykenevät aaltomuodot ja aaltoputken taajuusominaisuudet tunnetaan hyvin (esim luku 8 Fields and Waves in Communication Electronics, Simon Ramo et al., John Wiley & Sons, inc., USA). Kuvassa 1 on esimerkkinä aaltoputken mitoitusavasta esitetty nelikulmainen, johtavasta materiaalista muodostettu aaltoputki, jonka leveys on kuvassa esitetyn koordinaatiston x-akselin suuntaan a, korkeus y-akselin suuntaan b ja se on ilmatäytteinen, jolloin sen permittiivisyys ϵ_r on luokkaa 1. Kuvan 1 esittämässä ilmatäytteisessä aaltoputkessa ensimmäinen
30
35 (alin) kuvan z-akselin suuntaan etenemään pystyvä aaltomuoto on ns. TE_{10}

- 5 aaltomuoto (Transverse-electric). Kyseisen aaltomuodon sähkökentällä E ei ole lainkaan z-akselin suuntaista komponenttia. Sen sijaan magneettikentällä H on etenemissuuntaan, z-akselin suuntaan, oleva komponentti. TE₁₀-aaltomuodon ns. katkaisutaajuus f_c , jolla tarkoitetaan alinta aaltoputkessa etenemään pystyvää taajuutta, saadaan yhtälöstä:

$$f_{cTE_{10}} = c/2a$$

- 10 jossa a tarkoittaa aaltoputken leveyttä a x-akselin suuntaan ja c on valon nopeus tyhjiössä. Yleensä aaltoputken käyttökelpoinen taajuusalue on 1,2-1,9 kertaa kyseisen aaltomuodon katkaisutaajuus. Käyttökelpoisen alarajataajuuden määrää vaimennuksen kasvu lähestyttäessä ylhäältäpäin katkaisutaajuutta f_c . Ylärajataajuuden puolestaan määrää se, että taajuuksilla, jotka ovat yli kaksinkertaisia halutun aaltomuodon katkaisutaajuuteen f_c verrattuna, aaltoputkeen syntyy myös muita etenemään kykeneviä aaltomuotoja, joiden syntyminen halutaan välttää.

- 15 Tunnetaan myöskin aaltoputkirakenteita, joissa aaltoputken muodostaa eristeaineesta koostuva sydänosa, joka on päällystetty ohuella johtavasta aineesta valmistetulla materiaalikerroksella. Kyseiset aaltoputket kuitenkin valmistetaan aina erilliskomponenteiksi. Edellä kuvatuilla aaltoputkirakenteilla päästään pieneen vaimennukseen pituusyksikköä kohden, ja ne eivät juurikaan säteile ympäristöönsä häiriösäteilyä. Niiden ongelmana on kuitenkin kyseisten aaltoputkien suuri fyysinen koko muuhun valmistettavaan piirikokonaisuuteen verrattuna sekä se, että niiden valmistuksen integroitavuus muuhun piirikokonaisuuden valmistukseen on vaikeaa. Kyseiset aaltoputket joudutaan liittämään mekaanisesti joko juottamalla tai jollain muulla mekaanisella liitoksella piirikokonaisuuteen omassa erillisessä työvaiheessaan, mikä aiheuttaa ylimääräistä vikaantumisen vaaraa ja lisäkustannuksia.

- 25 Elektronisissa laitteissa käytetään myöskin hyväksi paremmin rakenteeseen integroituvia johtorakenteita. Niitä ovat mm. liuskajohto, mikroliuskajohto ja koplanaariset johdot. Niiden valmistus voidaan integroida muun valmistettavan piirikokonaisuuden yhteyteen tehtäessä piirikokonaisuuksia keraamisina rakenteina. Tätä valmistustekniikkaa kutsutaan monikerroskeramiikkatekniikaksi ja se perustuu joko HTCC-tekniikkaan (High Temperature Cofired Ceramics) tai LTCC-tekniikkaan (Low Temperature Cofired Ceramics). Molemmilla valmistustekniikoilla toteutetut piirirakenteet koostuvat useasta noin 100 µm:n paksuisesta keraamisesta materiaalikerroksesta (engl. green tape), jotka piirirakennetta koottaessa asetetaan päällekkäin. Ennen loppukäsittelyä tehtävää lämpökäsittelyä käytetty keraaminen mate-
- 30
- 35

riaali on vielä pehmeää, joten keraamisiin kerroksiin voidaan tehdä halutun muotoisia onkaloita ja läpivientireikiä. Samoin haluttuihin kohtiin voidaan silkipainomenetelmällä valmistaa erilaisia sähköisesti passiivisia elementtejä ja yllä mainittuja johtimia. Kun haluttu piirikokonaisuus on saatu rakenteellisesti valmiiksi, keraaminen monikerrosrakenne poltetaan sopivassa lämpötilassa. LTCC-tekniikassa käytetty lämpötila on luokkaa 850 °C ja HTCC-tekniikassa luokkaa 1600 °C. LTCC- ja HTCC-tekniikoilla valmistettujen mikroliuskajohtojen, liuskajohtojen ja koplanaaristen johtojen ongelmana on kuitenkin niiden suuri vaimennus pituusyksikköä kohden, heikko tehonsieto ja myöskin niiden varsin huono EMC-suojaus (ElectroMagnetic Compatibility). Nämä ongelmat rajoittavat kyseisten johtorakenteiden käyttöä niissä kohteissa, joissa edellä mainittuja ominaisuuksia tarvitaan.

Keksinnön tarkoituksena on aikaansaada monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettava aaltojohtorakenne, jolla voidaan vähentää mainittuja, tekniikan tason mukaisiin johtorakenteisiin liittyviä haittoja.

15 Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista, että z-akselin suuntaisen aaltojohdon muodostamiseksi:

- rakenteeseen muodostetaan ainakin kaksi rakenteen yz-tason suuntaista aaltojohdon pituista impedanssin muutoskohtaa, joilla impedanssin muutoskohdilla rajataan x-akselin suunnassa aaltojohdon ytimen mitta a, ja

20 - että xz-tasossa aaltojohdon ydin rajataan ensimmäisellä ja toisella kerroksella johtavaa materiaalia, jotka on silkipainettu aaltojohdon ytimen muodostavien keraamisten kerrosten päälle, ja joilla johtavilla tasoilla rajataan y-akselin suunnassa aaltojohdon ytimen mitta b.

Keksinnön mukaiselle aaltojohdolle on tunnusomaista, että aaltojohto käsittää:

25 - piirikokonaisuuden rakenteen z-akselin suuntaisen aaltojohdon ydinosan,
 - ainakin kaksi yz-tasossa sijaitsevaa impedanssin epäjatkuvuuskohtaa, joilla on rajattu aaltojohdon ydinosan mitta a x-akselin suunnassa, sekä
 - xz-tasossa sijaitsevat ensimmäisen ja toisen kerroksen johtavaa materiaalia, joilla kerroksilla on rajattu aaltojohdon ydinosan mitta b y-akselin suunnassa.

30 Keksinnön eräitä edullisia suoritusmuotoja on esitetty epäitsenäisissä patenttivaihtimuksissa.

Keksinnön perusajatus on seuraava: Monikerroskeramiikkatekniikalla valmistetaan rakenteeseen täysin integroitu aaltojohto, jonka ydinosaa muodostuu permittiivisyydeltään ϵ_r sopivasta eristeestä, joka on erotettu muusta keraamisesta rakenteesta

yhdessä tasossa kahdella samansuuntaisella johtavasta aineesta muodostetulla tasomaisella kerroksella ja toisessa tasossa, joka on edellisiä tasoja vastaan kohtisuora taso, kahdella ilmatäytteisellä onkalolla ja/tai johtavalla materiaaalilla täytetyillä yhdistysrei'illä.

- 5 Keksinnön etuna on, että aaltojohto voidaan valmistaa samanaikaisesti muiden monikerroskeramiikkatekniikalla valmistettavien komponenttien kanssa.

Lisäksi keksinnön etuna on, että aaltojohdon syöttöjärjestely voidaan toteuttaa saman monikerroskeramiikkatekniikan avulla.

- 10 Edelleen keksinnön etuna on, että menetelmällä valmistettu aaltojohto on edullisempi valmistaa kuin erilliskomponenteista valmistettu ja kokonaisuuteen erillisessä työvaiheessa liitetty aaltoputki.

Edelleen keksinnön etuna on hyvä EMC-suojaus verrattuna liuskajohtoon, mikroliuskajohtoon tai koplanaarijohtoon.

- 15 Seuraavassa keksintöä selostetaan yksityiskohtaisesti. Selostuksessa viitataan oheisiin piirustuksiin, joissa

kuva 1 esittää ilmatäytteistä, johtavasta materiaalista valmistettua tavanomaista aaltoputkea,

- 20 kuva 2 esittää esimerkinomaisesti monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettua suoritusmuotoa, jossa aaltojohdon sivuseinämät muodostuvat ilmatäytteisistä onkaloista,

kuva 3 esittää esimerkinomaisesti monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettua toista suoritusmuotoa, jossa aaltojohdon sivuseinämät muodostuvat ilmatäytteisistä onkaloista ja niiden läheisyydessä olevista johtavalla materiaaalilla täytetyistä läpivientirei'istä,

- 25 kuva 4 esittää esimerkinomaisesti monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettua keksinnön toisen suoritusmuodon mukaista aaltojohtoa x-y-tason leikkauksena,

kuva 5a esittää esimerkinomaisesti yhtä keksinnön mukaista tapaa herättää eteenpäin pystyvä aaltomuoto ensimmäisen suoritusmuodon mukaiseen aaltojohtoon.

- kuva 5b esittää esimerkinomaisesti erästä toista keksinnön mukaista tapaa herättää etenemään pystyvä aaltomuoto ensimmäisen suoritumuodon mukaiseen aaltojohtoon,
- 5 kuva 5c esittää esimerkinomaisesti erästä kolmatta keksinnön mukaista tapaa herättää etenemään pystyvä aaltomuoto ensimmäisen suoritumuodon mukaiseen aaltojohtoon,
- kuva 6a esittää yz-tason kuvantona erästä tapaa keksinnön mukaisen suoritumuodon mukaisen aaltojohdon liittämiseksi mikroliuskajohtoon ja
- 10 kuva 6b esittää yz-tason kuvantona keksinnön mukaisen suoritumuodon mukaisen aaltojohdon syöttöpisteen sovittamista aaltojohtoon.

Kuva 1 on esitetty tekniikan tason kuvauksen yhteydessä. Kuvien 2-6 selityksen yhteydessä viitataan kuvassa 1 esitettyihin x-, y- ja z-akselien suuntiin. Kyseiset akselien suunnat ovat samat kuin kuvan 1 esimerkissä esitetyt, vaikka kyseisiä akseleita ei ole kaikkiin kuviin piirretty.

- 15 Kuvassa 2 on esitetty esimerkinomaisesti keksinnön ensimmäisen suoritumuodon mukainen monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettu aaltojohto. Kuvan 2 esittämä rakenne kuuluu osana suurempaan monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettuun piirirakenteeseen, jota ei ole kuvassa kaikilta osin esitetty. Aaltojohtorakennetta ympäröi molemmilta puolin kuvassa esitetyt useista keraamisista kerroksista (engl. green tape) koostuvat rakenteet 21 ja 27. Niissä käytetyn keraamisen materiaalin permittiivisyys ϵ_r on selvästi suurempi kuin ilman permittiivisyys, joka on tunnetusti suuruusluokaltaan 1. Samasta keraamisesta materiaalista koostuvat pääosin muut rakenteen osat, joita on myös kuvassa esitetyn aaltojohtorakenteen sekä ylä-
- 20 että alapuolella y-akselin suuntaan katsottuna. Aaltojohdon ydinosan 23 muodostaa sama keraaminen aines kuin mitä muun piirirakenteen muodostama materiaali on. Aaltojohdon leveyden x-akselin suuntaan rajaavat oleellisesti yz-tason suuntaiset, ilmatäytteiset onkalot 22 ja 26. Ilmatäytteisen onkalon 22 tai 26 rajapinta muodostaa ydinosaa 23 vastaan sähkömagneettisen aaltorintaman kannalta aaltoimpedanssin epäjatkuvuuskohdan. Tämä aaltoimpedanssin epäjatkuvuuskohta heijastaa pääosin aaltojohdon ydinosassa 23 etenemään pystyvän aaltorintaman takaisin ydin-osaan 23 aaltorintaman edetessä z-akselin suuntaan. Aaltojohdon rajaa xz-tasossa jostain johtavasta materiaalista tehty oleellisesti yhdensuuntaiset tasomaiset ensimmäinen pinta 24 ja toinen pinta 25. Kyseiset tasomaiset pinnat 24 ja 25 voidaan tehdä joko täysin ydinosan 23 peittäviksi tai osittain verkkomaisiksi. Ky-
- 30

seiset tasomaiset, johtavat pinnat 24 ja 25 voidaan valmistaa esimerkiksi johtavasta pastamaisesta materiaalista, metalloimalla ydinosa 23 pinnat kyseisissä tasoissa tai myöskin peittämällä ydinosa 23 erillisellä, ohuella johtavalla kalvomaisella materiaalilla.

- 5 Keksinnön ensimmäisen suoritusmuodon mukaisessa aaltojohdossa etenee alimpana mahdollisena etenemismuotona ns. TEM-aaltomuoto (Transverse-electromagnetic), jonka sähkökentällä tai magneettikentällä ei ole kuvan z-akselin suuntaan olevaa komponenttia. Kyseisen aaltomuodon katkوتاajuus on tunnetusti 0 Hz eli kyseisessä aaltojohdossa voi kulkea tasavirta. Keksinnön ensimmäisen suoritus-
- 10 muodon mukainen aaltojohto kykenee siirtämään myös muita korkeampia mahdollisesti haluttuja TE_{mn} - tai TM_{mn} -aaltomuotoja (Transverse-magnetic), joiden vastaavat katkوتاajuudet voidaan laskea tavanomaisen aaltoputken mitoitussääntöjen mukaisesti, jotka mitoitussäännöt on esitetty kuvan 4 selityksen yhteydessä.

- 15 Kuvassa 3 on esitetty esimerkinomaisesti keksinnön toisen suoritusmuodon mukainen aaltojohto. Kuvan 3 esittämä rakenne kuuluu osana suurempaan monikerroskeramiikkatekniikalla toteutettuun rakenteeseen, jota ei ole kuvassa kaikilta osin esitetty. Aaltojohtorakennetta ympäröi molemmilta puolin kuvassa esitetyt useista keraamisista kerroksista (engl. green tape) koostuvat rakenteet 31 ja 37. Niissä käytetyn keraamisen materiaalin permittiivisyys ϵ_r on selvästi suurempi kuin ilman permittiivisyys, joka on suuruusluokaltaan 1. Samasta keraamisesta materiaalista
- 20 koostuvat pääosin myös muut rakenteen osat, joita on kuvassa esitetyn aaltojohtorakenteen sekä ylä- että alapuolella kuvan y-akselin suuntaan katsottuna. Aaltojohton ydinosa 33 muodostaa sama keraaminen aines kuin mitä muun piirirakenteen muodostama materiaali on. Aaltojohton leveyden x-akselin suuntaan rajaavat kaksi, kuvan z-akselin suuntaista, oleellisesti yhdensuuntaista impedanssin epäjatku-
- 25 vuuskohtaa, jotka muodostuvat yhdessä kuvan y-akselin suuntaisista läpivientireikäriveistä (engl. via posts) 38 ja 39 sekä ilmatäytteisistä onkaloista 32 ja 36. Kyseiset ilmatäytteiset onkalot 32 ja 36 ovat rakenteeltaan vastaavanlaiset kuin mitä kuvan 2 yhteydessä olevien onkaloiden kuvauksen yhteydessä on esitetty. Läpivientireikärivit 38, 39 täytetään johtavalla, pastamaisella materiaalilla piirirakenteen valmistamisen yhteydessä. Käytettäessä LTCC-tekniikkaa voidaan edullisesti
- 30 käyttää joko AgPd-pastaa tai Ag-pastaa. Mikäli keksinnön mukainen aaltojohtorakenne ympäröidään täysin joka puolelta muilla keraamisilla kerroksilla, voidaan käyttää halvempaa Ag-pastaa. Jos osa syntyvästä aaltojohtorakenteesta jää ulkosisälle atmosfäärille alttiiksi, joudutaan käyttämään kalliimpaa AgPd-pastaa. Läpivientireikärivit 38, 39 yhdistävät ydinosa 33 xz-tasossa rajaavat, johtavasta mate-
- 35

riaalista muodostetut, oleellisesti yhdensuuntaiset ensimmäisen tason 34 ja toisen tason 35.

5 Kuvassa 3 esitetyssä suoritusmuodossa on kuvaan piirretty yksi läpivientirivistö 38 ja 39 kummallekin ydinosan 33 sivulle x-akselin suunnassa katsottuna. Keksinnön mukaista aaltojohtorakennetta voidaan soveltaa myöskin lisäämällä useampia vastaavanlaisia rivistöjä ydinosaan 33. On myös mahdollista sijoittaa vastaavanlaisia läpivientirivistöjä lisää ilmaonkaloiden 32 ja 36 taakse jääviin piirirakenteen osiin 31 ja 36, jolla menettelyllä parannetaan aaltojohdon EMC-ominaisuuksia edelleen.

10 Kuvassa 4 on esimerkinomaisesti esitetty keksinnön toisen suoritusmuodon mukainen rakenne xy-tason leikkauskuvana. Keraaminen piirirakenne koostuu kerroksittain keraamisista levyistä/nauhoista 41. Aaltojohdon erottavat muusta rakenteesta x-akselin suunnassa yz- tason suuntaiset ilmatäytteiset onkalot 42 ja 46, joiden onkaloiden leveys on kuvassa esitetty mitta L ja korkeus kuvassa esitetty mitta b, sekä johtavalla materiaalilla täytetyt läpivientireikärivistöt 48 ja 49. Aaltojohdon 15 ydinosan 43 muodostaa keraaminen aines, jonka permittiivisyys ϵ_r on suuri ilmaan verrattuna. Aaltojohdon ydinosan leveyttä x-akselin suuntaan on kuvassa merkitty kirjaimella 'a. Ilmatäytteisten onkaloiden 42 ja 46 x-tasossa oleva leveysmitta L valitaan suuruudeltaan vastaamaan katkوتاajuuden f_c aallonpituuden neljäsosaa. Tällöin aaltojohtorakenne säteilee mahdollisimman vähän häiriösäteilyä ympäristöönsä. Kuvan 4 esittämää pintaa vastaan kohtisuorassa xz-tasossa aaltojohdon 20 rajaavat johtavasta materiaalista muodostetut oleellisesti yhdensuuntaiset ensimmäinen taso 44 ja toinen taso 45. Ensimmäinen taso 44 ja toinen taso 45 on yhdistetty toisiinsa johtavalla materiaalilla täytetyillä läpivientirei'illä 48 ja 49. Kuvassa esitetyn suoritusmuodon mukaisessa aaltojohdossa voivat edetä aaltomuodot TE_{mn} ja 25 TM_{mn} , joiden katkوتاajuudet f_{cmn} saadaan sinällään ennestään tunnetusta kaavasta:

$$f_{cm,n} = \frac{1}{2\sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

30 Kaavassa indeksit m ja n viittaavat aaltomuodon TE_{mn} tai TM_{mn} poikittaisen kenttäjakauman x- ja y-akselien suunnassa olevien maksimien lukumäärään, mitta a esittää aaltojohdon leveyttä x-akselin suuntaan ja mitta b esittää aaltojohdon korkeutta y-akselin suuntaan. Kaavassa esiintyvät termit μ ja ϵ ovat aaltojohdon ydinosan 43 muodostaman keraamisen materiaalin permeabiliteetti- ja permittiivisyysarvot.

Kuvissa 5a, 5b ja 5c on esitetty kolme erilaista esimerkkiä siitä, millä tavoin haluttu aaltomuoto voidaan herättää keksinnön mukaisissa aaltojohdoissa. Kuvien esimerkeissä aaltojohtona on käytetty ensimmäisen suoritusmuodon mukaista aaltojohtoa, mutta ratkaisut toimivat saman periaatteen mukaisesti myöskin keksinnön toisen suoritusmuodon mukaisissa aaltojohtorakenteissa.

Kuvan 5a esimerkissä aaltojohdon ytimen 53a erottaa muusta piirirakenteesta, jota kuvassa esittävät rakenteen osat 51a ja 57a, ilmatäytteiset onkalot 52a ja 56a sekä johtavasta materiaalista muodostetut oleellisesti yhdensuuntaiset ensimmäinen taso 54a ja toinen taso 55a. Halutun aaltomuodon herättämiseksi on muodostetussa aaltojohdossa ensimmäiseen tasoon 54a tehty haluttuun kohtaan reikä 58a. Kun asetetaan säteilevä elementti, jota kuvassa ei ole esitetty, reiän 58a läheisyyteen, on siitä seurauksena, että osa elementin säteilemästä kentästä siirtyy reiän 58a kautta keksinnön mukaiseen aaltojohtoon. Kyseinen säteilevä elementti voi olla mikä tahansa säteilemään kykenevä piirielementti tai mahdollisesti toinen keksinnön mukainen aaltojohto, jonka seinämään on tehty vastaavan muotoinen säteilemään pystyvä reikä. Valitsemalla säteilevä taajuus oikein saadaan aaltojohdossa herätettyä halutun aaltomuodon mukainen etenemään pystyvä sähkömagneettinen aaltomuoto.

Kuvassa 5b on esitetty eräs toinen mahdollinen tapa herättää keksinnön mukaisessa aaltojohdossa etenemään kykenevä aaltomuoto. Kuvan 5b esimerkissä aaltojohdon ytimen 53b erottaa muusta piirirakenteesta, jota kuvassa esittävät rakenteen osat 51b ja 57b, ilmatäytteiset onkalot 52b ja 56b sekä johtavasta materiaalista muodostetut oleellisesti yhdensuuntaiset ensimmäinen taso 54b ja toinen taso 55b. Halutun aaltomuodon herättämiseksi keksinnön mukaisessa aaltojohdossa on johtavaan ensimmäiseen tasoon 54b tehty haluttuun kohtaan reikä 58b, josta on viety aaltojohdon ydinosaan 53b sylinterinmuotoinen sondi 59b. Sondi on edullisesti valmistettu samasta johtavasta materiaalista kuin aaltojohdon tasomaiset ensimmäinen pinta 54b ja toinen pinta 55b. Sondi 59b kytketään haluttuun signaalin tuovaan johtimeen tasomaisen ensimmäisen pinnan 54b yläpuolisissa piirirakenteissa. Kyseinen signaalijohdin voi olla esimerkiksi liuskajohto tai mikroliuskajohto. Mainittua johdinta ja muita yläpuolisia piirirakenteita ei ole esitetty kuvassa 5b.

Kuvassa 5c on esitetty eräs kolmas mahdollinen tapa herättää keksinnön mukaisessa aaltojohdossa etenemään kykenevä aaltomuoto. Kuvan 5c esimerkissä aaltojohdon ytimen 53c erottaa muusta kokonaisuudesta, jota kuvassa esittävät rakenteen osat 51c ja 57c, ilmatäytteiset onkalot 52c ja 56c sekä johtavasta materiaalista muodostetut oleellisesti yhdensuuntaiset ensimmäinen taso 54c ja toinen taso 55c.

- Halutun aaltomuodon herättämiseksi muodostetussa aaltojohdossa on johtavasta materiaalista valmistettuun ensimmäiseen tasoon 54c tehty haluttuun kohtaan reikä 58c, josta on viety aaltojohdon ydinosaa 53c kytkentäsilmutta 59c. Kytkentäsilmutta 59c kytketään haluttuun signaalin tuovaan johtimeen tasomaisen ensimmäisen pinnan 54c yläpuolisissa piirirakenteissa. Kyseinen signaalijohdin voi olla esimerkiksi liuskajohto, mikroliuskajohto tai koplaanaarijohto. Kyseistä signaalia tuovaa johdinta ja muita yläpuolisia piirirakenteita ei ole esitetty kuvassa 5c. Kytkentäsilmutta 59c valmistetaan johtavasta materiaalista muun monikerroskeraamiikkatekniikalla toteutetun piirirakenteen valmistuksen yhteydessä.
- 10 Kuvassa 6a on esimerkinomaisesti esitetty, miten mikroliuskajohtimen ja keksinnön mukaisen aaltojohdon yhteenliittäminen voidaan suorittaa. Kuvassa on esitetty yz-tasossa oleva leikkauskuvanto johtojen yhdistämiskohdasta. Piirirakenne on toteutettu liittämällä yhteen useita kerroksia keraamisia levyjä 61a. Mikroliuskajohtojen osuuden 60a muodostavat signaalijohdin 63a ja maajohdin 62a. Siirtojohdon impedanssi muuttuu mikroliuskajohtojen ja aaltojohdon 68a yhtymäkohdassa. Suuret impedanssien epäsovitukset aiheuttavat mainituksa rajapinnassa epätoivottua signaalin heijastumista takaisin tulosuuntaansa. Tätä heijastumisongelmaa voidaan pienentää tekemällä liitoskohtaan rakenne, jossa asteittain muutetaan siirtojohdon impedanssitason. Kuvan 6a esimerkissä tämä impedanssien sovitus on tehty ns.
- 15 neljännesaaltomuuntajalla 67a. Se muodostuu kuvan z-akselin suuntaan $\lambda/4$:n pituisista askelmaisista aaltojohdon geometrian muutoksista. Kuvassa 6a se saadaan aikaiseksi johtavilla tasopinnoilla 66a, jotka on y-akselin suunnassa yhdistetty toisiinsa johtavasta materiaalista valmistetuilla läpivienti rei'illä 64a. X-akselin suuntaan kyseiset tasot 66a ulottuvat koko aaltojohdon ydinosan poikki. Rakenteessa käytettävä keraaminen materiaali on sähköisiltä ominaisuuksiltaan kuvan esimerkissä samanlaista piirirakenteen kaikissa osissa.
- 20 Kuvassa 6b on esimerkinomaisesti esitetty toinen tapa, miten keksinnön mukaisen aaltojohdon yhteenliittäminen toiseen sähköiseen piiriin voidaan toteuttaa. Kuvassa on esitetty yz-tasossa oleva leikkauskuvanto siirtojohtojen yhdistämiskohdasta. Komponentin piirirakenne on toteutettu liittämällä yhteen useita kerroksia keraamisia levyjä 61b. Herätesignaali tuodaan aaltojohtoon lieriömäisen sondin 63b avulla. Kuvan esimerkissä sondi tulee aaltojohtoon 68b sen yläpinnan muodostavan ensimmäisen tason 62b ja siihen tehdyn aukon 68b kautta. Täten sondi 63b ei ole galvaanisessa yhteydessä johtavaan ensimmäiseen tasopintaan 62b. Itse sondi
- 30 63b voi ulottua kuvan y-akselin suunnassa tarvittaessa useiden keraamisten piirirakenteiden läpi. Signaalin syöttökohtaan syntyvää impedanssiepäsovitusta pienennetään
- 35

tään kuvan 6a selityksen yhteydessä kuvatuunlaisella neljännesaaltomuuntajalla 67b. Kyseinen neljännesaaltomuuntaja 67b koostuu johtavista tasopinnoista 66b, jotka on kuvan y-akselin suunnassa yhdistetty toisiinsa johtavasta materiaalista valmistetuilla läpivientirei'illä 64b. Kuvan x-akselin suuntaan kyseiset tasot 66b ulottuvat koko aaltojohdon ydinosan poikki. Rakenteessa käytettävä keraaminen materiaali on sähköisiltä ominaisuuksiltaan kuvan esimerkissä samanlaista piirirakenteen kaikissa osissa.

Keksinnön mukaisille aaltojohtojen suoritusmuodoille on suoritettu laskennallisia simulointeja. Simuloinnit on suoritettu molemmille keksinnön mukaisille suoritusmuodoille samoilla rakennemitoilla, jolloin aaltojohdon ydinosan mitta a on ollut 5 mm, mitta b 2 mm, keraamisen materiaalin $\epsilon_r = 5,9$ ja aaltojohtorakenteeseen kuuluvien ilmatäytteisten onkaloiden x-akselin suuntainen mitta $L = 2,5$ mm. Simuloinnissa on käytetty TE_{10} -mukaista toimintamoodia ja käytettävänä taajuutena on ollut 18 GHz. Simuloinnit ovat antaneet tulokseksi keksinnön mukaiselle ensimmäiselle suoritusmuodolle vaimennukseksi 1,7 dB/cm. Keksinnön toisen suoritusmuodon mukaiselle aaltojohtorakenteelle on saatu samoilla rakennemitoilla a ja b ja samalla taajuudella 18 GHz vaimennuksen arvoksi 0,7 dB/cm.

Edellä on kuvattu eräitä keksinnön mukaisia edullisia suoritusmuotoja. Keksintö ei rajoitu juuri kuvattuihin ratkaisuihin. Keksinnöllistä ajatusta voidaan soveltaa lukuisilla tavoilla patenttivaatimusten asettamissa rajoissa.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä aaltojohdon valmistamiseksi monikerroskeramiikkatekniikalla valmistettaviin piirirakenteisiin, jonka piirirakenteen mitat ja rakennesuunnat ovat määriteltävissä toisiaan vastaan kohtisuorien x-, y- ja z-akselien avulla, ja jossa valmistusmenetelmässä piirikokonaisuus kootaan erillisistä keraamisista kerroksista (41, 61a, 61b), joiden kerrosten permittiivisyys ϵ_r on ilman vastaavaa arvoa suurempi ja joihin kerrokseen tehdään halutun muotoisia onkaloita (22, 26, 32, 36, 42, 46, 52a, 52b, 52c, 56a, 56b, 56c) ja reikiä (38, 39, 48, 49, 64a, 64b) ja jonka keraamisen kerroksen pinnalle silkipainetaan haluttuun kohtaan halutun muotoinen johtava materiaalikerros (24, 25, 34, 35, 44, 45, 54a, 54b, 55c, 55a, 55b, 55c, 62a, 62b, 65a, 65b), ja joka piirirakenne saatetaan valmiiksi saattamalla piirikokonaisuus korkeaan lämpötilaan, tunnettu siitä, että oleellisesti z-akselin suuntaisen aaltojohdon muodostamiseksi
- piirirakenteeseen muodostetaan ainakin kaksi oleellisesti rakenteen yz-tason kanssa yhdensuuntaista, aaltojohdon pituista impedanssin epäjatkuvuuskohtaa, joilla impedanssin epäjatkuvuuskohdilla rajataan x-akselin suunnassa aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) mitta a, ja
 - että xz-tasossa aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) rajataan oleellisesti yhdensuuntaisilla ensimmäisellä (24, 34, 44, 54a, 54b, 54c, 62a, 62b) ja toisella (25, 35, 45, 55a, 55b, 55c, 65a, 65b) tasolla johtavaa materiaalia, jotka valmistetaan aaltojohdon ydinosan muodostavien keraamisten kerrosten ylä- ja alapuolelle y-akselin suuntaan katsottuna ja joilla johtavilla ensimmäisellä ja toisella tasolla rajataan y-akselin suunnassa aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) mitta b.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen aaltojohdon valmistusmenetelmä, tunnettu siitä, että mainitut kaksi oleellisesti rakenteen yz-tason suuntaista aaltojohdon pituista impedanssin epäjatkuvuuskohtaa saadaan aikaan muodostamalla rakenteeseen aaltojohdon ydinosan (23) molemmille puolille oleellisesti z-akselin suuntaiset ilmatäytteiset onkalot (22, 26).
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen aaltojohdon valmistusmenetelmä, tunnettu siitä, että kaksi oleellisesti rakenteen yz-tason suuntaista aaltojohdon pituista impedanssin epäjatkuvuuskohtaa saadaan aikaiseksi
- muodostamalla rakenteeseen aaltojohdon ydinosan (33) molemmille puolille oleellisesti z-akselin suuntaiset ilmatäytteiset onkalot (32, 36)
 - sekä sijoittamalla aaltojohdon ydinosaan (33) lähelle molempia ilmatäytteisiä onkaloita (32, 36) ainakin yksi rivi johtavalla materiaalilla täytettäviä, oleellisesti y-

akselin suuntaisia läpivientireikiä (38, 39), joilla yhdistetään galvaanisesti mainitut ensimmäinen (34) ja toinen (35) taso johtavaa materiaalia.

4. Monikerroskeramiikkatekniikalla valmistettaviin piirikokonaisuuksiin integroitu aaltojohto, jonka piirikokonaisuuden mitat ja rakennesuunnat ovat määriteltävissä toisiaan vastaan kohtisuorien x-, y- ja z-akselien avulla ja jossa piirikokonaisuus on kootu erillisistä keraamisista kerroksista (41, 61a, 61b), joiden kerrosten permittiivisyys ϵ_r on ilman vastaavaa arvoa suurempi ja joihin kerroksiin on valmistettu halutun muotoisia onkaloita (22, 26, 32, 36, 42, 46, 52a, 52b, 52c, 56a, 56b, 56c) ja reikiä (38, 39, 48, 49, 64a, 64b) ja joiden keraamisten kerroksien pinnalle on valmistettu haluttuun kohtaan halutun muotoinen johtava materiaalikeros, tunnettu siitä, että aaltojohto käsittää :
 - oleellisesti piirikokonaisuuden rakenteen z-akselin suuntaisen aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c),
 - ainakin kaksi oleellisesti yz-tason suuntaista oleellisesti yhdensuuntaista, aaltojohdon pituista impedanssin epäjatkuvuuskohtaa, joilla on rajattu aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) mitta a x-akselin suunnassa, ja
 - ensimmäisen (24, 34, 44, 54a, 54b, 54c, 62a, 62b) oleellisesti xz-tason suuntaisen oleellisesti aaltojohdon pituisen kerroksen johtavaa materiaalia ja toisen (25, 35, 45, 55a, 55b, 55c, 65a, 65b) oleellisesti xz-tason suuntaisen oleellisesti aaltojohdon pituisen kerroksen johtavaa materiaalia, jotka ensimmäinen ja toinen kerros ovat oleellisesti yhdensuuntaiset ja joilla kerroksilla on rajattu aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) mitta b y-akselin suunnassa.
5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen aaltojohto, tunnettu siitä, että mainitut oleellisesti yz-tason suuntaiset impedanssin epäjatkuvuuskohdat ovat muodostettu ilmatäytteisten onkaloiden (22, 26) ja ydinosan (23) rajapinnan avulla.
6. Patenttivaatimuksen 4 mukainen aaltojohto, tunnettu siitä, että mainitut oleellisesti yz-tason suuntaiset impedanssin epäjatkuvuuskohdat on muodostettu
 - aaltojohdon ydinosan molemmille puolille oleellisesti z-akselin suuntaisesti sijoituvista ilmatäytteisistä onkaloista (32, 36) sekä
 - aaltojohdon ydinosaan (33) lähelle molempia ilmatäytteisiä onkaloita (32, 36) ainakin yhteen riviin sijoitetuista oleellisesti y-akselin suuntaisista, johtavalla materiaalilla täytetyistä läpivientirei'istä (38, 39), joilla on yhdistetty mainittu ensimmäinen kerros ja mainittu toinen kerros.

7. Patenttivaatimuksen 4 mukainen aaltojohto, **tunnettu** siitä, että aaltojohdon ensimmäiseen pintaan (54a) on tehty reikä (58a) aaltojohdossa etenemään tarkoitettun sähkömagneettisen kentän herättämiseksi.
- 5 8. Patenttivaatimuksen 4 mukainen aaltojohto, **tunnettu** siitä, että aaltojohdon ensimmäiseen pintaan (54b) on tehty reikä (58b), jonka kautta aaltojohdon ydinosaan (53b) on johdettu sondi (59b) aaltojohdossa etenemään tarkoitettun sähkömagneettisen kentän herättämiseksi.
- 10 9. Patenttivaatimuksen 4 mukainen aaltojohto, **tunnettu** siitä, että aaltojohdon ensimmäiseen pintaan (54c) on tehty reikä (58c), jonka kautta aaltojohdon ydinosaan (53c) on johdettu kytkentäsilmutta (59c) aaltojohdossa etenemään tarkoitettun sähkömagneettisen kentän herättämiseksi.

(57) Tiivistelmä

Keksinnön kohteena on aaltojohdon valmistusmenetelmä sekä menetelmällä valmistettu aaltojohto, joka voidaan integroida osaksi monikerroskeramiikkatekniikalla valmistettua piirrakennetta. Aaltojohdon ydinosan (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) muodostaa keraamisista kerroksista koottu kokonaisuus, jonka rajaavat yz-tasossa kaksi impedanssin epäjatkuvuuskohtaa sekä xz-tasossa kaksi johtavasta materiaalista valmistettua tasomaista pintaa (24, 25, 34, 35, 54a, 54b, 54c, 55a, 55b, 55c). Kyseiset johtavat pinnat voidaan yhdistää toisiinsa johtavasta materiaalista valmistetuilla läpivientirei'illä (38, 39, 48, 49). Keksinnön mukaisella menetelmällä valmistettu aaltojohto on kiinteä osa piirirakennekokonaisuutta.

Kuva 3

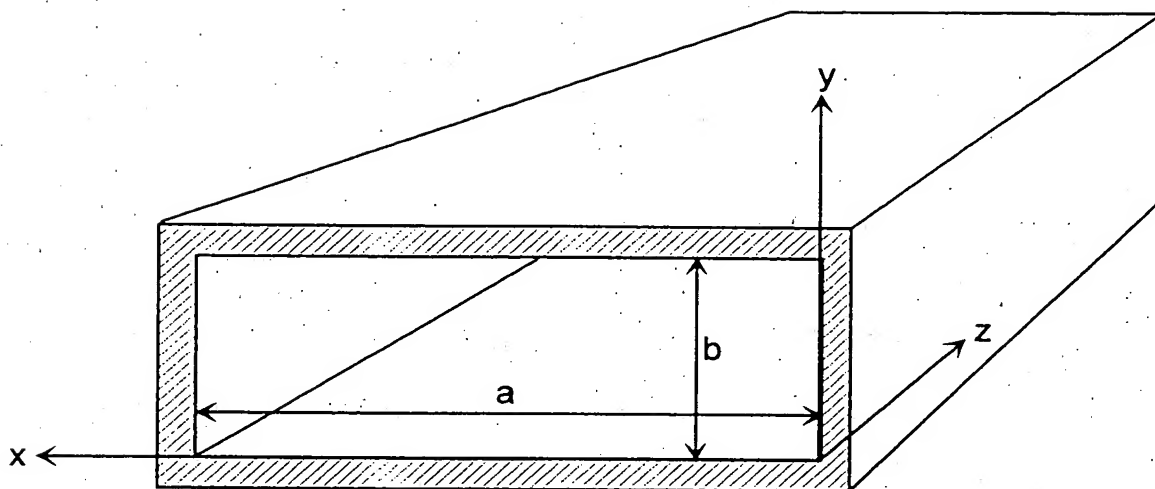


Fig. 1

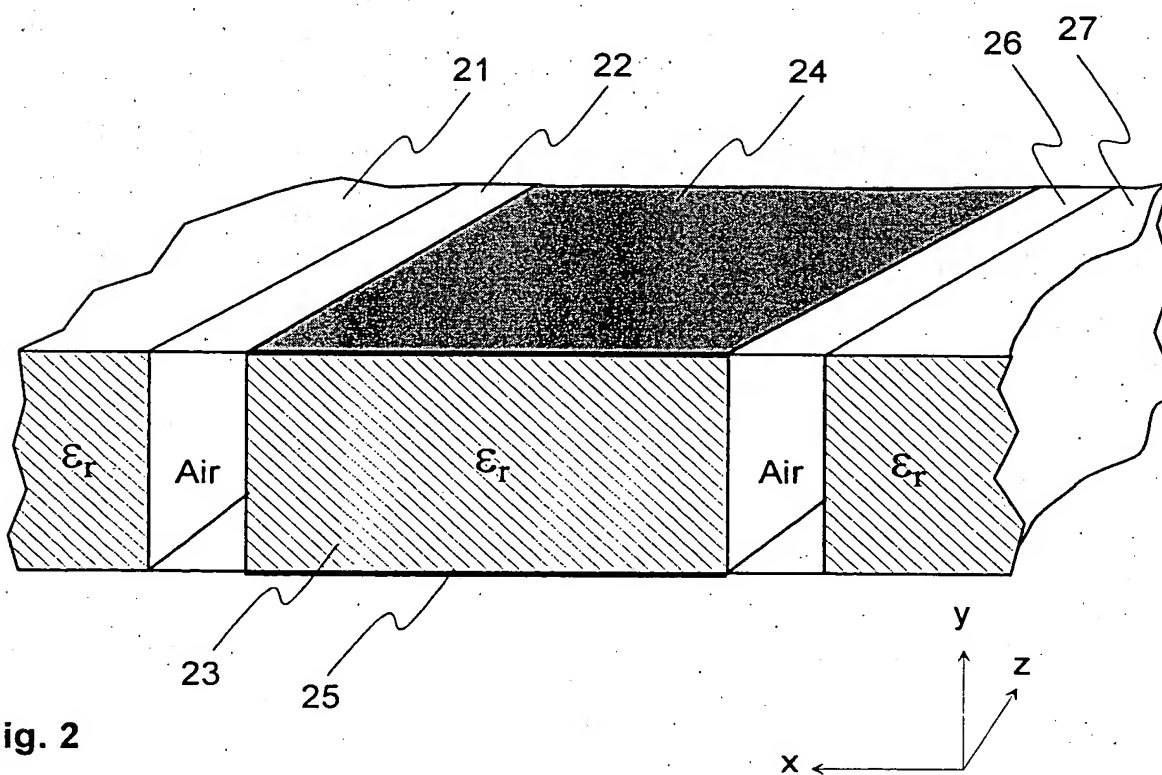


Fig. 2

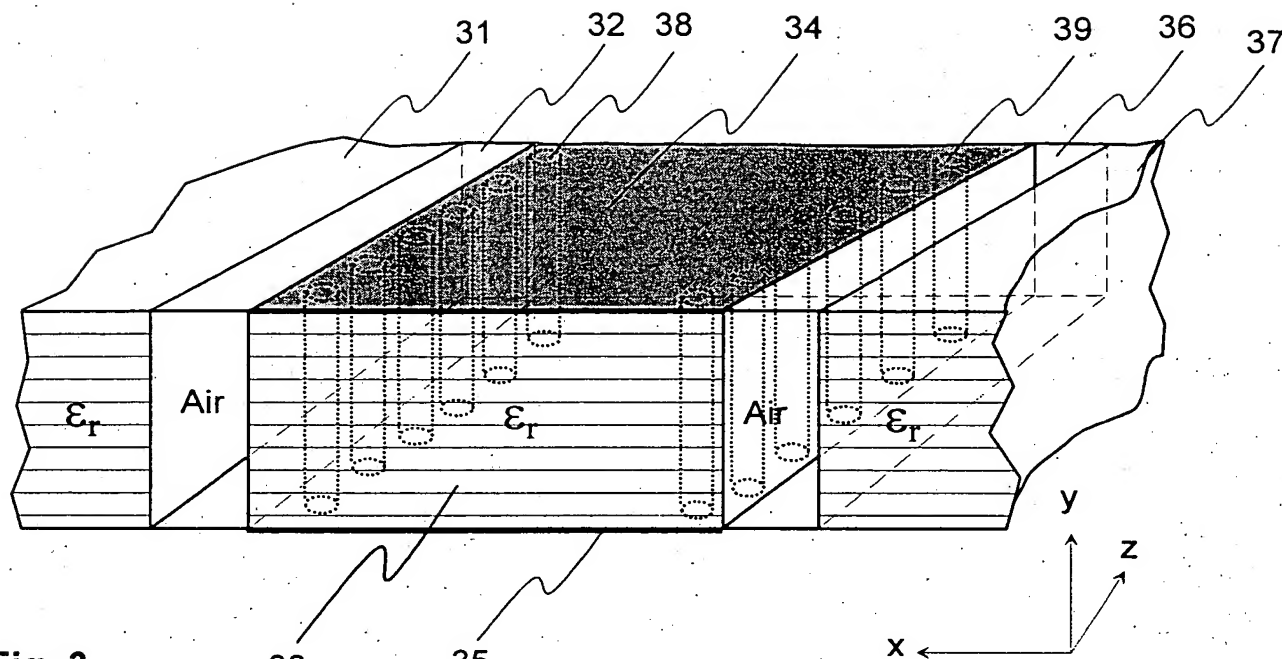


Fig. 3

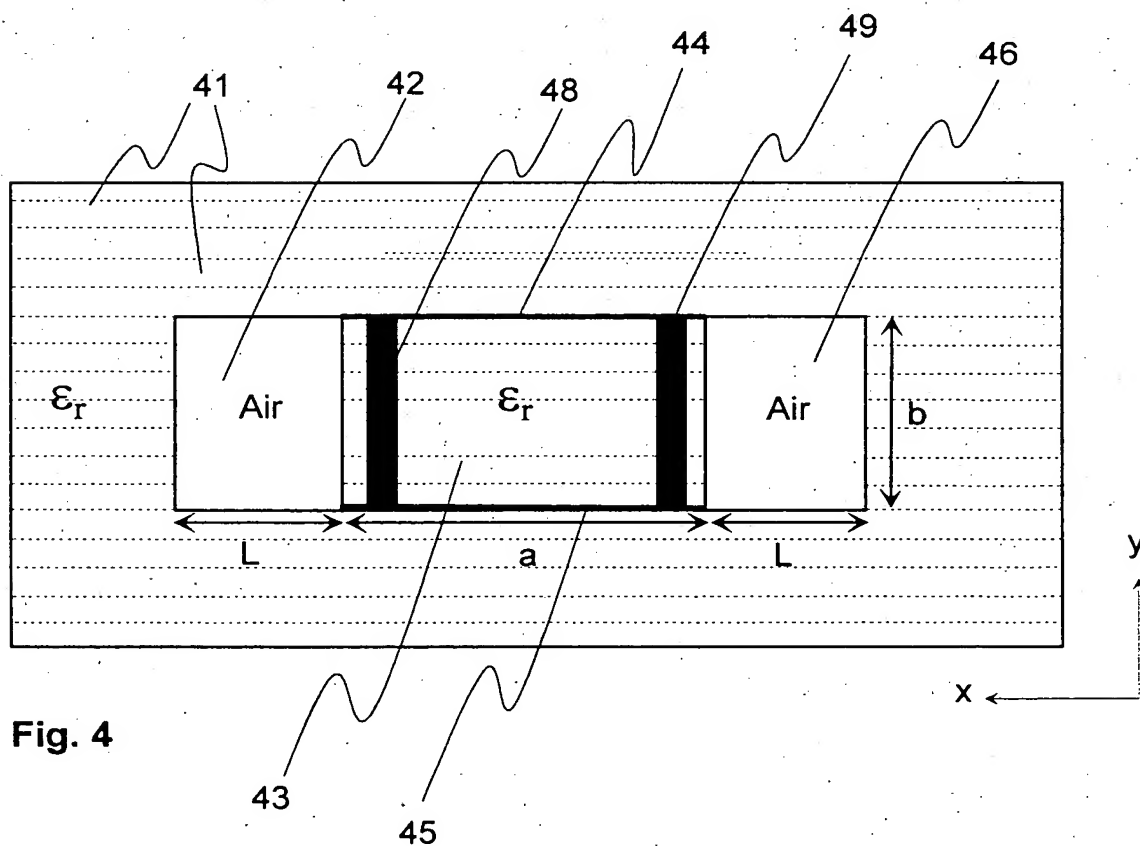
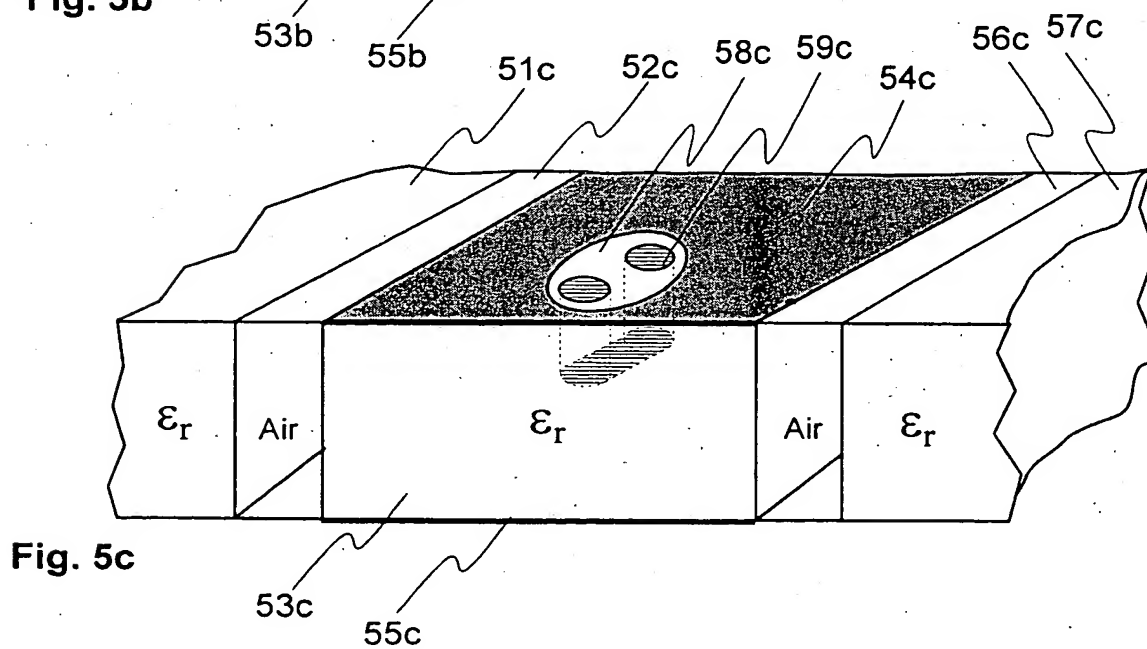
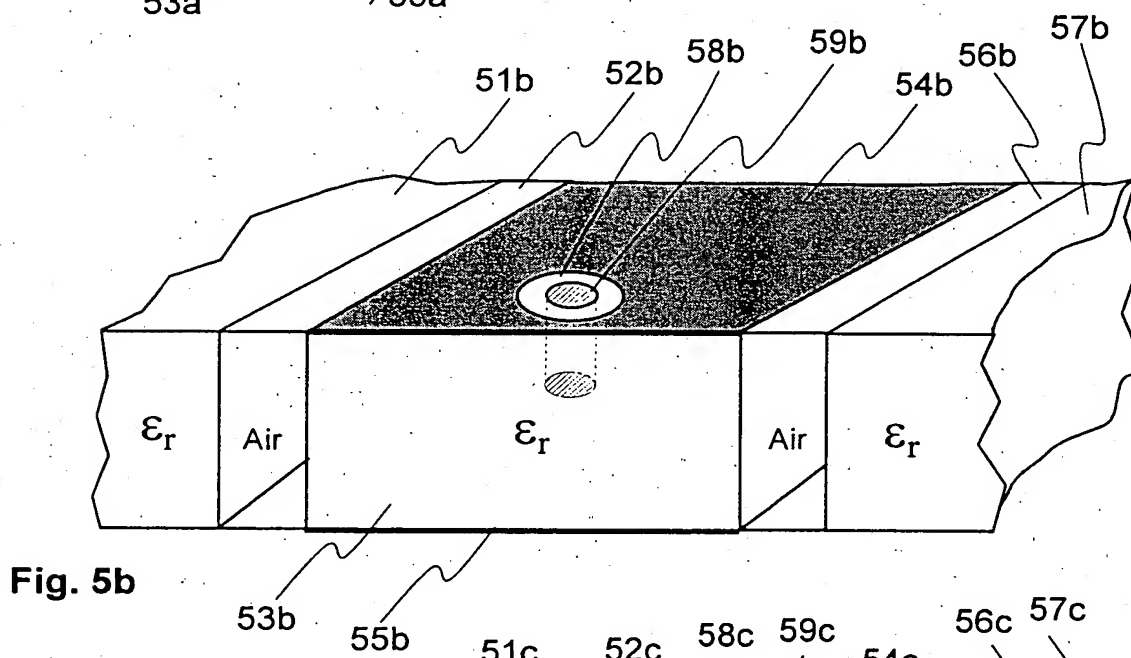
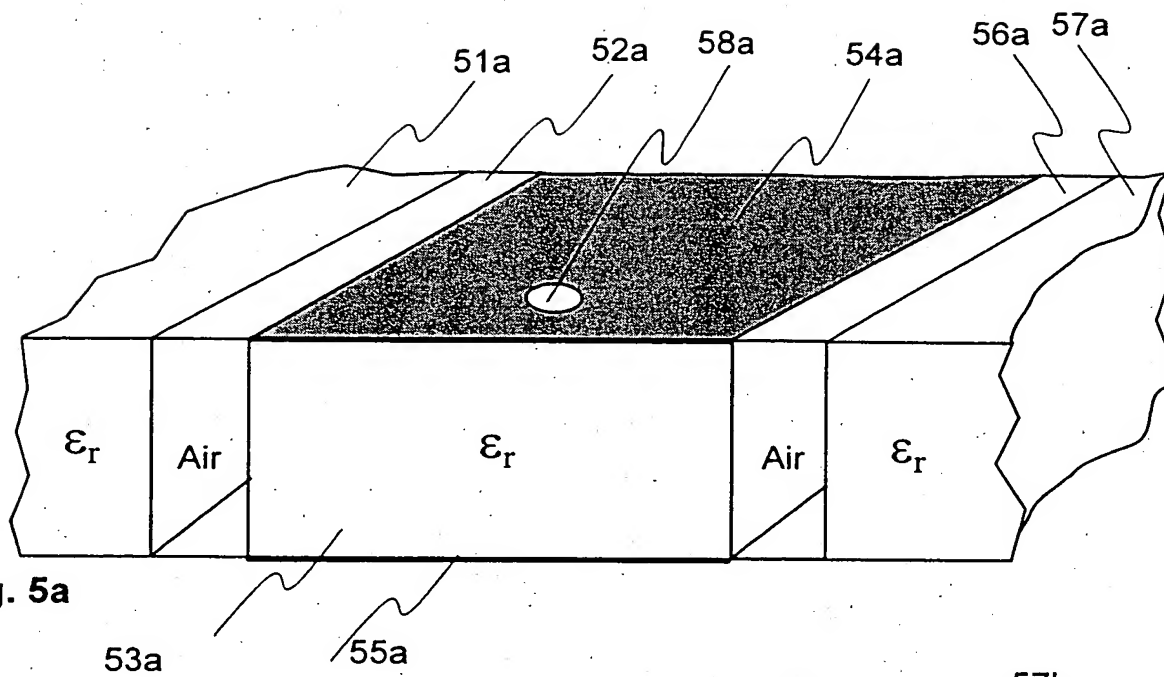


Fig. 4



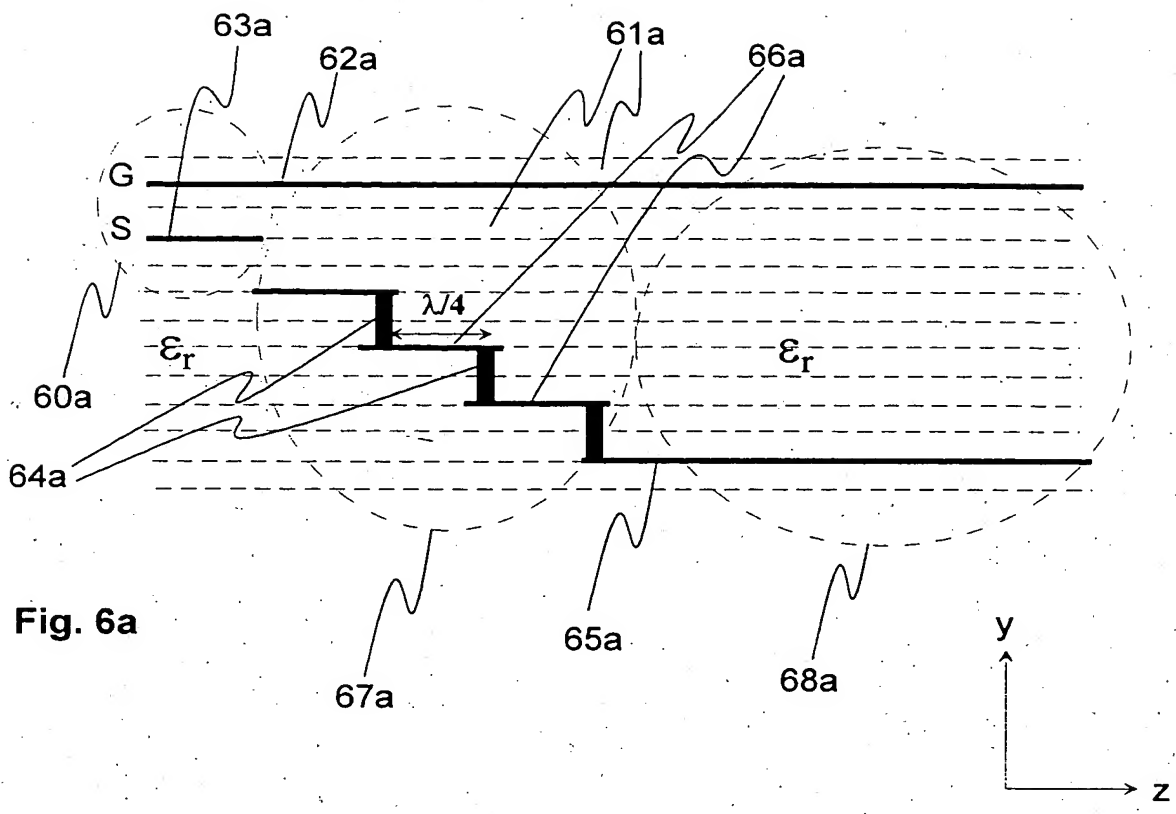


Fig. 6a

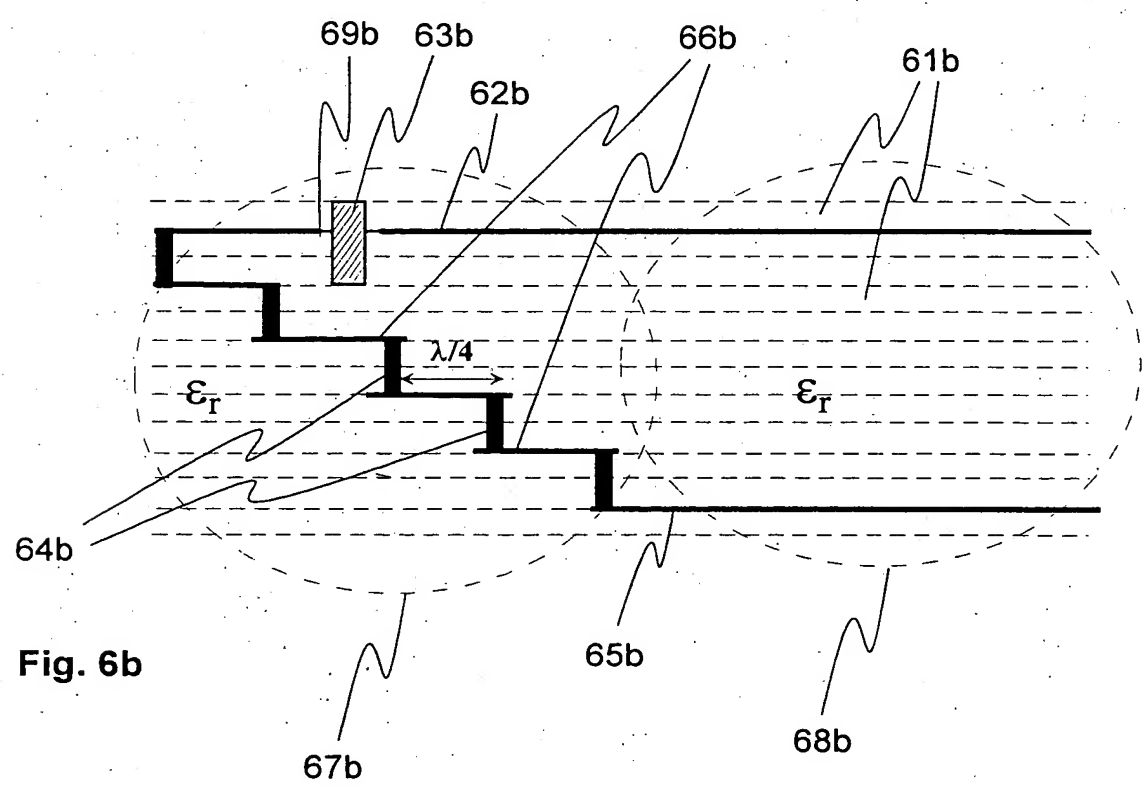


Fig. 6b

Method for creating waveguides in multilayer ceramic structures and a waveguide

The invention relates to a method for creating waveguides in circuit board units manufactured with the multilayer ceramic technique, in which method the dimensions and structural directions of the circuit board units can be defined by means of x, y and z axes perpendicular to each other, and the circuit board unit is assembled of separate ceramic layers, the permittivity ϵ_r of which is higher than the corresponding value of air, and in which layers cavities and holes of the desired shape can be made, and on the surface of which ceramic layer a conductive material can be printed at the desired location by silk screen printing, and the circuit board unit is completed by exposing the unit to a high temperature.

The invention also relates to a waveguide integrated into circuit board units manufactured with multilayer ceramics, wherein the dimensions and structural directions of the circuit board units can be defined by means of x, y and z axes perpendicular to each other, and the circuit board unit has been assembled of separate ceramic layers, the permittivity ϵ_r of which is higher than the corresponding value of air, and in which layers cavities and holes of the desired shape have been made in the ceramic layers, and on the surface of which ceramic layers a layer of conductive material can be added at the desired location by silk screen printing.

Different conductor structures are used in the structures of electronic devices. The higher the frequencies used in the devices, the greater the requirements set for the conductor structures used, so that the attenuation caused by the conductor structures does not become too high or that the conductor structure used does not disturb other parts of the apparatus by radiation. The designer of the device can select from many possible conductor structures. Depending on the application, an air-filled waveguide made of metal, for example, can be used. The basic structure, dimensions, waveforms that can propagate in the waveguide and the frequency properties of the waveguide are well known (see e.g. chapter 8 Fields and Waves in Communication Electronics, Simon Ramo et al., John Wiley & Sons, inc., USA). Fig. 1 shows, as an example of the dimensioning of a waveguide, a rectangular waveguide made of conductive material, the width of which is a in the direction of the x-axis of the coordinates shown in the figure, the height of which is b in the direction of the y-axis, and which is filled by air, whereby its permittivity ϵ_r is of magnitude 1. In the air-filled waveguide shown in Fig. 1, the first (lowest) waveform that can propagate

in the direction of the z-axis is the so-called TE₁₀ (Transverse-electric) waveform. The electric field E of this waveform does not have a component in the direction of the z-axis at all. Instead, the magnetic field H has a component in the direction of propagation, the direction of the z-axis. The so-called cut-off frequency f_c of the waveform TE₁₀, which means the lowest frequency that can propagate in the waveguide, is obtained from the equation:

$$f_{cTE_{10}} = c/2a$$

where the letter a means the width a of the waveguide in the direction of the x-axis, and c is the speed of light in a vacuum. Generally, the usable frequency range of the waveguide is 1.2 to 1.9 times the cut-off frequency of the waveform in question. The usable lower limiting frequency is determined by the growth of the attenuation when the cut-off frequency f_c is approached from above. The upper frequency limit again is determined by the fact that with frequencies that are more than twice the cut-off frequency f_c of the desired waveform, other waveforms that are capable of propagating are also created in the waveguide, and this should be avoided.

There are also known waveguide structures, in which the waveguide is formed by a core part made of dielectric material, which is coated with a thin layer of conductive material. However, these waveguides are always made as separate components. The above described waveguide structures provide a small attenuation per unit of length, and they do not emit much interference radiation to the environment. However, the problem with these waveguides is the large physical size compared to the rest of the circuit unit to be manufactured, and the fact that it is difficult to integrate their manufacture into the manufacture of the circuit unit as a whole. These waveguides must be joined to the circuit unit mechanically either by soldering or by some other mechanical joint in a separate step, which increases costs and the risk of failure.

Conductor structures that are better integrated into the structure are also utilized in electronic equipment. These include strip lines, microstrips and coplanar conductors. Their manufacture can be integrated into the manufacture of the circuit unit as a whole, when circuit units are manufactured as ceramic structures. This manufacturing technique is called multilayer ceramics, and it is based either on the HTCC (High Temperature Cofired Ceramics) or LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics) technique. The circuit structures implemented with either of these manufacturing techniques consist of multiple layers of ceramic material (green tape), which are 100 μm thick and placed on top of each other when the circuit structure is assembled. Before the heat treatment, which is performed as the final

treatment, the ceramic material is still soft, and thus it is possible to make cavities and vias of the desired shape in the ceramic layers. It is also possible to make various electrically passive elements and the above-mentioned conductors on the desired points with silk screen printing. When the desired circuit unit is structurally complete, the ceramic multilayer structure is fired in a suitable temperature. The temperature used in the LTCC technique is around 850°C and in the HTCC technique around 1600°C . However, the problem of microstrips, strip lines and coplanar conductors made with these techniques is the high attenuation per unit of length, low power margin and relatively low ElectroMagnetic Compatibility (EMC). These problems limit the use of these conductor structures in the applications where the above-mentioned properties are needed.

The objective of the invention is to accomplish a waveguide structure implemented with multilayer ceramics, by which the above-mentioned drawbacks of the prior art guide structure can be reduced.

The method according to the invention is characterized in that for creating a waveguide in the direction of the z-axis:

- at least two impedance change points in the direction of the yz plane of the structure are formed in the structure to limit the length a of the core of the waveguide in the direction of the x-axis, and
- that in the xz plane, the core of the waveguide is limited with a first and a second layer of conductive material, which is silk screen printed on top of the ceramic layers that form the core of the waveguide, and which conductive planes are used to limit the length b of the core of the waveguide in the direction of the y-axis.

The waveguide according to the invention is characterized in that it comprises:

- the core part of the waveguide of the structure of the circuit unit in the direction of the z-axis,
- at least two points of impedance discontinuity in the yz-plane, by which the length a of the core part of the waveguide has been limited in the direction of the x-axis, and
- a first and a second layer of conductive material in the xz plane, by which layers the dimension b of the core part of the waveguide has been limited in the direction of the y-axis.

Some preferred embodiments of the invention are described in the dependent claims.

The basic idea of the invention is the following: A waveguide fully integrated into the structure is manufactured with the multilayer ceramic technique. The core part of the waveguide is made of dielectric material with a suitable permittivity ϵ_r , which is separated from the rest of the ceramic structure in one plane by two layers of conductive material forming parallel planes, and in another plane, which is perpendicular to the previous planes, by two cavities filled with air and/or joining holes filled with conductive material.

The invention has the advantage that the waveguide can be manufactured simultaneously with other components manufactured with the multilayer ceramic technique.

In addition, the invention has the advantage that the feeding arrangement of the waveguide can be implemented with the same multilayer ceramic technique.

The invention also has the advantage that the manufacturing costs of a waveguide manufactured with the method are lower than those of a waveguide made of separate components and joined to the structure in a separate step.

Furthermore, the invention has the advantage that it has a good EMC protection as compared to a strip line, microstrip or coplanar conductor.

In the following, the invention will be described in more detail. Reference will be made to the accompanying drawings, in which

Figure 1 shows an ordinary, air-filled waveguide made of conductive material,

Figure 2 shows an exemplary embodiment implemented with the multilayer ceramic technique, in which the side walls of the waveguide are formed of cavities filled with air,

Figure 3 shows another exemplary embodiment implemented with the multilayer ceramic technique, in which the side walls of the waveguide are formed of air-filled cavities and vias in the vicinity thereof, filled with conductive material,

Figure 4 shows an example of a waveguide according to the second embodiment of the invention implemented with the multilayer ceramic technique as a section in the x-y plane,

Figure 5a shows an example of one way according to the invention to excite a waveform capable of propagating in the waveguide according to the first embodiment of the invention,

Figure 5b shows an example of another way according to the invention to excite a waveform capable of propagating in the waveguide according to the first embodiment of the invention,

Figure 5c shows an example of a third way according to the invention to excite a waveform capable of propagating in the waveguide according to the first embodiment of the invention,

Figure 6a shows an yz-plane presentation of one way of joining a waveguide according to an embodiment of the invention to a microstrip conductor, and

Figure 6b shows an yz-plane presentation of fitting the feeding point of a waveguide according to the invention to a waveguide.

Figure 1 was presented in connection with the description of the prior art. In connection with the description of Figures 2 to 6, reference is made to the directions of the axes x, y and z shown in Figure 1. The directions of the axes are the same as those shown in the example of Fig. 1, although the axes are not drawn in all the figures.

Figure 2 shows an example of a waveguide according to the first embodiment of the invention, implemented with the multilayer ceramic technique. The structure shown in Fig. 2 is part of a larger circuit structure implemented with the multilayer ceramic technique, which is not shown in its entirety in the drawing. The waveguide structure is surrounded on both sides by the structures 21 and 27 shown in the drawing, which consist of several green tapes. The permittivity ϵ_r of the ceramic material used in them is clearly higher than the permittivity of air, which is of the magnitude 1, as is well known. Other parts of the structure, which are both above and below the waveguide structure shown in the drawing, viewed in the direction of the y-axis, consist mainly of the same ceramic material. The core part 23 of the waveguide consists of the same ceramic material as the rest of the circuit structure. The width of the waveguide in the direction of the x-axis is limited by air-filled cavities 22 and 26 essentially in the direction of the yz plane. The interface of the air-filled cavity 22 or 26 forms a discontinuity of the characteristic impedance against the core part 23 in view of the electromagnetic wave front. This

discontinuity of the characteristic impedance mainly reflects the wave front, which is capable of propagating in the core part 23 of the waveguide, back to the core part 23, while the wave front propagates in the direction of the z-axis. The waveguide is limited in the xz-plane by a first surface 24 and a second surface 25, which are made of some conductive material and which form essentially parallel planes. These planar surfaces 24 and 25 can be made either such that they completely cover the core part 23 or partly gridded. These planar, conductive surfaces 24 and 25 can be made, for example, of conductive pastelike material, by metallizing the surfaces of the core part 23 in these planes or also by covering the core part 23 by separate, thin, conductive filmy material.

In the waveguide according to the first embodiment of the invention, the lowest possible propagating waveform is the TEM (Transverse-electromagnetic) waveform, the electric or magnetic field of which does not have a component in the direction of the z-axis of the drawing. The cut-off frequency of this waveform is 0 Hz, as is known, which means that direct current can flow in the waveguide. A waveguide according to the first embodiment of the invention can also transmit other higher, possibly desired TE_{mn} or TM_{mn} (Transverse-magnetic) waveforms, the corresponding cut-off frequencies of which can be calculated according to the dimensioning rules of an ordinary waveguide, which dimensioning rules have been presented in connection with the description of Fig. 4.

Figure 3 shows an example of a waveguide according to the second embodiment of the invention. The structure shown in Fig. 3 is part of a larger structure implemented with the multilayer ceramic technique, which is not shown in its entirety in the drawing. The waveguide structure is surrounded on both sides by the structures 31 and 37 shown in the drawing, which consist of several green tapes. The permittivity ϵ_r of the ceramic material used in them is clearly higher than the permittivity of air, which is of the magnitude 1. Other parts of the structure, which are both above and below the waveguide structure shown in the drawing, viewed in the direction of the y-axis of the drawing, also consist mainly of the same ceramic material. The core part 33 of the waveguide consists of the same ceramic material as the rest of the circuit structure. The width of the waveguide in the direction of the x-axis is limited by two essentially parallel impedance discontinuities, which are formed of via posts 38 and 39 in the direction of the y-axis of the drawing together with the air-filled cavities 32 and 36. The air-filled cavities 32 and 36 have a similar construction as was presented in connection with the description of the cavities shown in Fig. 2. The via posts 38, 39 are filled with conductive, pastelike material in connection with the

manufacture of the circuit structure. When the LTCC technique is used, either AgPd paste or Ag paste can be used advantageously. If the waveguide structure according to the invention is entirely surrounded from all sides by other ceramic layers, the cheaper Ag paste can be used. If part of the created waveguide structure remains exposed to the external atmosphere, the more expensive AgPd paste must be used. The via posts 38, 39 combine the essentially parallel first plane 34 and second plane 35, which are formed of conductive material and which limit the core part 33 in the xz plane.

In the embodiment shown in Fig. 3, one via post 38 and 39 for each side of the core part are shown in the drawing as viewed in the direction of the x-axis. The waveguide structure according to the invention can also be implemented by adding several similar via posts to the core part 33. It is also possible to add more similar via posts to the parts 31 and 37 of the circuit structure behind the air cavities 32 and 36, whereby the EMC properties of the waveguide are further improved.

Figure 4 shows an example of a structure according to the second embodiment of the invention as a section in the xy plane. The ceramic circuit structure is assembled by layers of ceramic plates/strips 41. The waveguide is separated from the rest of the structure in the direction of the x-axis by air-filled cavities 42 and 46 in the direction of the yz plane, the width of which cavities is the measure L shown in the drawing and the height is the measure b shown in the drawing, and via posts 48 and 49 filled with conductive material. The core part 43 of the waveguide is formed by ceramic material, the permittivity ϵ_r of which is high compared to air. The width of the core part of the waveguide in the direction of the x-axis is denoted by the letter a in the drawing. The width L of the air-filled cavities 42 and 46 in the x-plane is selected such that its magnitude corresponds to a fourth of the wavelength of the cut-off frequency f_c . Then the waveguide structure emits as little interference radiation as possible to its environment. In the xz plane, which is perpendicular to the surface shown in Fig. 4, the waveguide is limited by a first plane 44 and a second plane 45, which are essentially parallel and made of conductive material. The first plane 44 and the second plane 45 are connected to each other by vias 48 and 49, which are filled with conductive material. The waveforms TE_{mn} and TM_{mn} can propagate in a waveguide according to the embodiment shown in the drawing. The cut-off frequencies f_{cmn} of these waveforms are obtained from the known formula:

$$f_{cm,n} = \frac{1}{2\sqrt{\mu \epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

In the formula, the indexes m and n refer to the number of maximums in the direction of the x and y axes of the transverse field distribution of the TE_{mn} or TM_{mn} waveform, measure a denotes the width of the waveguide in the direction of the x -axis, and measure b denotes the height of the waveguide in the direction of the y -axis. The terms μ and ϵ in the formula are the permeability and permittivity values of the ceramic material of the core part 43 of the waveguide.

Figures 5a, 5b and 5c show three different examples of how the desired waveform can be excited in waveguides according to the invention. The waveguide used in the examples of the figures is a waveguide according to the first embodiment, but the solutions function in accordance with the same principle in waveguide structures according to the second embodiment of the invention as well.

In the example of Figure 5a, the core 53a of the waveguide is separated from the rest of the circuit structure, which is represented by parts 51a and 57a of the structure in the drawing, by air-filled cavities 52a and 56a and a first plane 54a and a second plane 55a, which are essentially parallel and made of conductive material. In order to excite the desired waveform, a hole 58a has been made at the desired point in the first plane 54a of the waveguide. When a radiating element, which is not shown in the drawing, is placed in the vicinity of the hole 58a, the result is that part of the field radiated by the element is transferred through the hole 58a to the waveguide according to the invention. The radiating element can be any circuit element capable of radiating, or possibly another waveguide according to the invention, in the wall of which a hole of corresponding shape and capable of radiating has been made. By selecting the radiating frequency correctly, an electromagnetic waveform of the desired kind and capable of propagating can be excited in the waveguide.

Figure 5b shows another possible way of exciting a waveform capable of propagating in a waveguide according to the invention. In the example of Figure 5b, the core 53b of the waveguide is separated from the rest of the circuit structure, which is represented in the drawing by parts 51b and 57b, by air-filled cavities 52b and 56b and a first plane 54b and a second plane 55b, which are essentially parallel and made of conductive material. In order to excite the desired waveform, there is a hole 58b made at the desired point of the conductive first plane 54b, and the hole is fitted with a cylindrical probe 59b leading to the core part 53b of the waveguide. The probe is preferably made of the same conductive material as the planar first surface 54b and second surface 55b of the waveguide. The probe 59b is connected to the desired signal inputting conductor in the circuit structures above the planar

first surface 54b. The signal conductor can be a strip line or a microstrip, for example. The conductor and other circuit structures above are not shown in Fig. 5b.

Figure 5c shows a third possible way of exciting a waveform capable of propagating in a waveguide according to the invention. In the example of Figure 5c, the core 53c of the waveguide is separated from the rest of the unit, which is represented in the drawing by parts 51c and 57c, by air-filled cavities 52c and 56c and a first plane 54c and a second plane 55c, which are essentially parallel and made of conductive material. In order to excite the desired waveform in the waveguide, there is a hole 58c made at the desired point of the first plane 54c made of conductive material, and the hole is fitted with a coupling loop 59c leading to the core part 53c of the waveguide. The coupling loop 59c is connected to the desired signal inputting conductor in the circuit structures above the planar first surface 54c. The signal conductor can be, for example, a stripline, microstrip or a coplanar conductor. The signal inputting conductor and other circuit structures above are not shown in Fig. 5c. The coupling loop 59c is manufactured of conductive material in connection with the manufacture of the rest of the circuit structure implemented with the multilayer ceramic technique.

Figure 6a shows, by way of example, how the microstrip and the waveguide according to the invention can be joined together. The figure shows a section in the yz plane of the point where the conductors are connected. The circuit structure has been implemented by joining together several layers of ceramic plates 61a. The portion of the microstrip 60a is formed by the signal conductor 63a and the ground conductor 62a. The impedance of the transmission line changes at the point where the microstrip and the waveguide 68a are joined together. High impedance mismatches cause an undesired reflection of the signal back to its incoming direction in the above-mentioned interface. This reflection problem can be diminished by making at the joint a special structure, in which the impedance level of the transmission line is gradually changed. In the example of Fig. 6a, this matching of the impedances has been implemented by a so-called quarter-wave transformer 67a. It consists of steplike changes of the waveguide geometry of the length of $\lambda/4$ in the direction of the z-axis in the drawing. In Fig. 6a, it is accomplished by means of conductive plane surfaces 66a, which are connected to each other in the direction of the y-axis by vias 64a made of conductive material. In the direction of the x-axis, these planes 66a reach across the whole core part of the waveguide. The electric properties of the ceramic material used in the structure are similar in all parts of the circuit structure in the example of the drawing.

Figure 6b shows an example of another way of joining a waveguide according to the invention to another electric circuit. The figure shows a section in the yz plane of the point where the transmission lines are connected. The circuit structure of the component has been implemented by joining together several layers of ceramic plates 61b. The exciting signal is brought to the waveguide by means of a cylindrical probe 63b. In the example of the drawing, the probe comes to the waveguide 68b through the first plane 62b, which forms the upper surface of the waveguide, and a hole 69b made in the plane. Thus the probe 63b does not have a galvanic connection to the conductive first plane 62b. The probe 63b itself may reach through several ceramic circuit structures in the direction of the y-axis of the drawing, when required. The impedance mismatch created at the feeding point of the signal is reduced by a quarter-wave transformer 67b of the kind described in connection with Figure 6a. The quarter-wave transformer 67b consists of conductive plane surfaces 66b, which are connected to each other in the direction of the y-axis of the drawing by vias 64b made of conductive material. In the direction of the x-axis of the drawing, these planes 66b reach across the whole core part of the waveguide. The electric properties of the ceramic material used in the structure are similar in all parts of the circuit structure in the example of the drawing.

Calculatory simulations have been performed on the embodiments of the waveguides according to the invention. The simulations have been performed on both embodiments according to the invention with the same structural dimensions, whereby the measure a of the core part of the waveguide has been 5 mm, measure b 2 mm, ϵ_r of the ceramic material 5.9 and the measure L in the direction of the x-axis of the air-filled cavities that are part of the waveguide structure 2.5 mm. A mode of operation according to TE_{10} has been used in the simulation, and the frequency used has been 18 GHz. As a result of the simulation, the first embodiment according to the invention had an attenuation of 1.7 dB/cm. With the same structural dimensions a and b and the same frequency 18 GHz, the waveguide structure according to the second embodiment of the invention had an attenuation value of 0.7 dB/cm.

Some preferred embodiments of the invention have been described above. However, the invention is not limited to the solutions described above. The inventive idea can be applied in many different ways within the scope defined by the attached claims.

Claims

1. A method for manufacturing a waveguide in circuit structures manufactured with the multilayer ceramic technique, in which method the dimensions and structural directions of the circuit structures can be determined by means of x, y and z axes perpendicular to each other, and the circuit unit is assembled of separate ceramic layers (41, 61a, 61b), the permittivity ϵ_r of which is higher than the corresponding value of air, and in which layers cavities (22, 26, 32, 36, 42, 46, 52a, 52b, 52c, 56a, 56b, 56c) and holes (38, 39, 48, 49, 64a, 64b) of the desired shape are made and on the surface of which ceramic layer a conductive layer of material (24, 25, 34, 35, 44, 45, 54a, 54b, 54c, 55a, 55b, 55c, 62a, 62b, 65a, 65b) is silk screen printed on the desired location, and the circuit structure is completed by exposing the circuit structure to a high temperature, **characterized** in that for creating a waveguide essentially in the direction of the z-axis

- at least two impedance discontinuities essentially parallel with the yz plane of the structure and of the length of the waveguide are formed in the circuit structure to limit the length a of the core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide in the direction of the x-axis, and

- that in the xz plane the core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide is limited by essentially parallel first (24, 34, 44, 54a, 54b, 54c, 62a, 62b) and second (25, 35, 45, 55a, 55b, 55c, 65a, 65b) planes of conductive material, which are manufactured above and below the ceramic layers that form the core part of the waveguide in the direction of the y-axis, and which conductive first and second planes are used to limit the measure b of the core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide in the direction of the y-axis.

2. A waveguide manufacturing method according to Claim 1, **characterized** in that said two impedance discontinuities of the length of the waveguide essentially in the direction of the yz plane of the structure are accomplished by forming air-filled cavities (22, 26) essentially in the direction of the z-axis on both sides of the core part (23) of the waveguide in the structure.

3. A waveguide manufacturing method according to Claim 1, **characterized** in that two impedance discontinuities of the length of the waveguide essentially in the direction of the yz plane of the structure are accomplished

- by forming air-filled cavities (32, 36) essentially in the direction of the z-axis on both sides of the core part (33) of the waveguide in the structure

- and by placing in the core part (33) of the waveguide close to both air-filled cavities (32, 36) at least one row of vias (38, 39) filled with conductive material and essentially in the direction of the y-axis, by which said first (34) and second (35) planes of conductive material are galvanically connected.

4. A waveguide integrated into circuit units manufactured with the multilayer ceramic technique, wherein the dimensions and structural directions of the circuit units can be determined by means of x, y and z axis perpendicular to each other, and the circuit unit has been assembled of separate ceramic layers (41, 61a, 61b), the permittivity ϵ_r of which is higher than the corresponding value of air, and in which layers cavities (22, 26, 32, 36, 42, 46, 52a, 52b, 52c, 56a, 56b, 56c) and holes (38, 39, 48, 49, 64a, 64b) of the desired shape have been made, and on the surface of which ceramic layers a layer of conductive material has been made on the desired location, **characterized** in that the waveguide comprises:

- a core part of the waveguide (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) essentially in the direction of the z-axis of the structure of the circuit unit,
- at least two impedance discontinuities essentially in the direction of the yz plane, essentially parallel and of the length of the waveguide, which limit the dimension a of the core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide in the direction of the x-axis, and
- a first (24, 34, 44, 54a, 54b, 54c, 62a, 62b) layer of conductive material essentially in the direction of the xz plane and essentially of the length of the waveguide, and a second (25, 35, 45, 55a, 55b, 55c, 65a, 65b) layer of conductive material essentially in the direction of the xz plane and essentially of the length of the waveguide, which first and second layers are essentially parallel and which limit the dimension b of the core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide in the direction of the y-axis.

5. A waveguide according to Claim 4, **characterized** in that said impedance discontinuities essentially in the direction of the yz plane have been formed by means of the air-filled cavities (22, 26) and the interface of the core part (23).

6. A waveguide according to Claim 4, **characterized** in that said impedance discontinuities essentially in the direction of the yz plane have been formed

- of air-filled cavities (32, 36) placed essentially in the direction of the z-axis on both sides of the core part of the waveguide, and
- of vias (38, 39) essentially in the direction of the y-axis, filled with conductive material and placed in at least one row in the core part (33) of the waveguide close to both air-filled cavities, by which vias said first and second layers have been

7. A waveguide according to Claim 4, **characterized** in that a hole (58a) has been made in the first surface (54a) of the waveguide for exciting the electromagnetic field intended to propagate in the waveguide.

8. A waveguide according to Claim 4, **characterized** in that a hole (58b) has been made in the first surface (54b) of the waveguide, through which hole a probe (59b) has been led to the core part (53b) of the waveguide for exciting the electromagnetic field intended to propagate in the waveguide.

9. A waveguide according to Claim 4, **characterized** in that a hole (58c) has been made in the first surface (54c) of the waveguide, through which hole a coupling loop (59c) has been led to the core part (53c) of the waveguide for exciting the electromagnetic field intended to propagate in the waveguide.

(57) Abstract

The invention relates to a waveguide manufacturing method and a waveguide manufactured with the method, which can be integrated into a circuit structure manufactured with the multilayer ceramic technique. The core part (23, 33, 43, 53a, 53b, 53c) of the waveguide is formed by a unit assembled of ceramic layers, which is limited in the yz plane by two impedance discontinuities and in the xz plane by two planar surfaces (24, 25, 34, 35, 54a, 54b, 54c, 55a, 55b, 55c) made of conductive material. The conductive surfaces can be connected to each other by vias made of conductive material (38, 39, 48, 49). The waveguide manufactured with the method according to the invention is a fixed part of the circuit structure as a whole.